

Котов Д. А. , аспирант  
Мысик Р.К., проф., д-р техн. наук

### МОДИФИЦИРОВАНИЕ ЛАТУНИ ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1 С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Сложнолегированная латунь ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1 (в дальнейшем ЛМцАЖКС) является представителем класса износостойких латуней. По своей сути она является композитом, состоящим из матрицы  $\alpha$  – фазы и  $(\alpha + \beta')$ -фазы и интерметаллидов различной морфологии: розеточной, глобулярной и игольчатой. Интерметаллиды по твердости превосходят твердость матричных фаз в несколько раз. Установлено, что чем мельче интерметаллиды в сплаве, тем выше его характеристики износостойкости. Данная латунь используется для производства колец синхронизаторов, устанавливаемых в коробке переключения передач автомобилей, которые испытывают ударные и фрикционные нагрузки. Известно, что в литом состоянии кристаллическая структура слитка отличается ярко выраженной неоднородностью первичных фаз и интерметаллидов по его сечению. При этом в слитках образуется неоднородная макро-структура. Для дальнейшей пластической обработки предпочтительна однородная мелкозернистая структура слитка. Одним из способов измельчения структуры является модифицирование сплава. Известно, что модификаторы первого рода являются поверхностно-активными веществами, снижающими поверхностное натяжение жидкого расплава ( $\sigma' > \sigma$ , где  $\sigma'$  – поверхностное натяжение сплава без модификатора,  $\sigma$  – с модификатором).

Изменение свободной энергии системы  $\Delta F$  при образовании элементарного кристалла (центра кристаллизации) при спонтанной кристаллизации:

$$\Delta F = (4/3) \pi R^3 \Delta F_V - 4 \pi R^2 \sigma, \quad (1)$$

где  $R$  – радиус зародыша первой фазы;

$\Delta F_V$  – изменение удельной объемной свободной энергии;

$\sigma$  – поверхностное натяжение сплава.

Это выражение в случае применения модификатора примет вид:

$$\Delta F' = (4/3) \pi R^3 \Delta F_V - 4 \pi R^2 \sigma', \quad (2)$$

Вычитая формулу (2) из (1), получаем:

$$\begin{aligned} \Delta F' - \Delta F &= -4 \pi R^2 \sigma' + 4 \pi R^2 \sigma \text{ или} \\ \Delta F' - \Delta F &= 4 \pi R^2 (\sigma - \sigma') > 0 - \text{по абсолютной величине.} \end{aligned}$$

Следовательно, уменьшение свободной энергии системы при кристаллизации сплавов, содержащих модификатор, по абсолютной величине снижается. Следовательно, термодинамический рост кристаллов в присутствии модификаторов первого рода менее выгоден, чем спонтанный рост кристаллов.

Наилучший эффект может быть получен при использовании комплексных модификаторов, содержащих несколько элементов, обладающих модифицирующим действием. В качестве модификатора использовали легатуру Ni-Mg-Ce (состав: мас. %: 84 Ni; 15,5 Mg; 0,5 Ce). При этом полагали, что усвоение Mg и Ce сплавом при введении такой легатуры будет лучше. Магний является модификатором первого рода. Церий связывает примеси в тугоплавкие соединения, образуя дополнительные центры кристаллизации, тем самым выполняя роль модификатора второго рода. Присутствие никеля в легатуре позволяет улучшить усвоение магния и церия расплавом и выполнить роль модификатора второго рода. По техническим условиям содержание никеля в сплаве ограничено до 0,1%. Количество вводимой легатуры не должно превысить предельного содержания по никелю.

Для исследования влияния легатуры Ni-Mg-Ce в качестве модификатора была проведена серия опытов. Из промышленной индукционной канальной печи отбирался расплав предварительно разогретым графитовым ковшом, после модифицирования расплав заливался в подогретый до 100°C стальной кокиль с внутренним диаметром 50 мм и высотой 400 мм. Контрольный образец заливался без введения модификатора. Последующие шесть образцов заливались с вводом модификатора в количествах от 0,01 до 0,2% модификатора. Температура расплава при заливке контролировалась термоэлектрическим преобразователем и равнялась 1100 °C.

Все образцы разрезались вдоль продольной оси. Одна половина использовалась для изучения макроструктуры, вторая для изготовления образцов на определение механических свойств. Для определения величины зерна на поверхности шлифа на половине высоты слитка отмечались три участка: в центре, на  $\frac{1}{2}$  радиуса и поверхности. Производился подсчет количества зерен при увеличении 100 по формуле :

$$N_i = 1/S_k \times (n_1 + 0,5 \times n_2 + 1),$$

где  $N_i$  – среднее число зерен, приходящихся на 1 мм<sup>2</sup> площади шлифа;

$S_k$  – контрольная площадь (в данном случае 25 мм<sup>2</sup>);

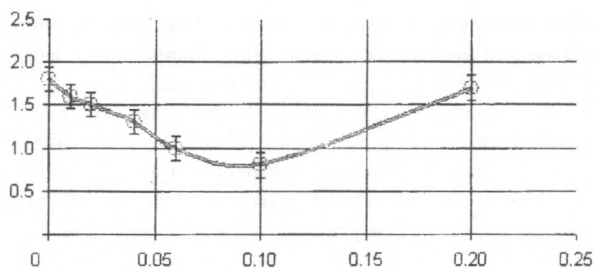
$n_1$  – число зерен, целиком находящихся внутри контрольной площади;

$n_2$  – число зерен, находящихся на контуре контрольной площади. Средний размер зерна ( $d$ , мм) определяли по формуле

$$d = \frac{1}{N_i}.$$

Зависимость среднего размера зерна от содержания модификатора в сплаве представлена на рис.1

Из рис.1 видно, что при увеличении содержания модификатора происходит уменьшение среднего размера зерна более чем в 2 раза, но при увеличении содержания модификатора свыше 0,1% средний размер зерна



**Содержание модификатора, мас. %**

Рис.1 Зависимость среднего размера зерна от содержания модификатора в сплаве ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1

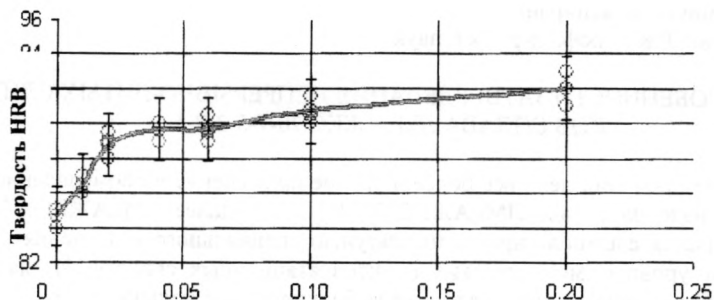
начинает расти. При содержании модификатора 0,2% средний размер зерна имеет такое же значение, как и без модифицирования. Это можно объяснить эффектом «перемодифицирования».

На рис. 2 представлена зависимость механических свойств от количества модификатора, введенного в сплав. Видно, что при введении модификатора в количестве до 0,05% происходит рост временного сопротивления разрушению при растяжении и относительного удлинения. Очевидно это связано с уменьшением размера зерна. При этом следует отметить, что с увеличением количества вводимого модификатора более 0,05% прочностные характеристики изменяются незначительно, в то время как относительное удлинение снижается.

Зависимость твердости от количества вводимого модификатора представлена на рис. 3.



Рис.2 Механические свойства латуни ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1



**Содержание модификатора, мас. %**

Рис. 3 Зависимость твердости от содержания модификатора в образцах сплава ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1

С увеличением количества модификатора наблюдается постоянный рост твердости.

Проведенные эксперименты позволили сделать вывод о том, что модифицирование латуни ЛМцАЖКС лигатурой Ni-Mg-Ce является эффективным способом воздействия на кристаллизующийся расплав, а также позволили установить количество модификатора (0,04 - 0,06%), необходимого для повышения уровня механических свойств.